

# Paleogeografía geoquímica de las series metasedimentarias del Macizo Ibérico

## *Geochemical paleogeography of the metasedimentary series of the Iberian Massif*

J.M. Fuenlabrada<sup>1</sup>, R. Arenas<sup>2</sup>, S. Sánchez Martínez<sup>2</sup>, R. Díez Fernández<sup>2</sup> y A. P. Pieren<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CAI de Geocronología y Geoquímica Isotópica. Universidad Complutense, 28040 Madrid, España. jmfuenla@ucm.es

<sup>2</sup> Dpto. de Petrología y Geoquímica e Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain.

<sup>3</sup> Dpto. de Estratigrafía, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain.

**Resumen:** Las características geoquímicas e isotópicas de las series turbidíticas del Macizo Ibérico reflejan distintos escenarios tectónicos en la periferia de Gondwana. Estos cambios se observan en el registro sedimentario de la transición Ediacareense-Cámbrico, que tuvo lugar en el contexto general de un margen continental activo.  $T_{DM}$  jóvenes y  $\epsilon Nd$  menos negativos resultan característicos de cuencas sedimentarias más exteriores, con una importante contribución de material juvenil derivado del sector más activo del arco volcánico (metagrauvas culminantes de las Unidades Superiores del Complejo de Órdenes). Las cuencas sedimentarias más próximas al continente se caracterizan por mayores aportes desde dominios alejados del arco activo que dan lugar a valores de  $T_{DM}$  más antiguos y  $\epsilon Nd$  muy negativos (metagrauvas de las Unidades Basales del Complejo de Malpica-Tui). Una evolución desde contextos activos hasta otros más propios de márgenes pasivos se detecta con claridad en la transición Ediacareense-Cámbrico, y debe relacionarse con una disminución de la actividad del arco volcánico y la transición hacia un margen pasivo. El diagrama de  $f^{Sm/Nd}$  vs  $\epsilon Nd$  confirma esta variación de los escenarios tectónicos asociados al margen de Gondwana, perfectamente registrados en los metasedimentos de diferentes sectores y unidades del Macizo Ibérico.

**Palabras clave:** Turbiditas, Geoquímica Isotópica Sm-Nd, Transición Ediacareense-Cámbrico, Macizo Ibérico.

**Abstract:** Geochemical and isotopic features of the turbiditic series from the Iberian Massif reflect different tectonic scenarios in the periphery of Gondwana. These changes can be observed in the sedimentary record of the Ediacaran-Cambrian transition, which took place in the realm of an active continental margin. Young  $T_{DM}$  and less negative  $\epsilon Nd$  values are characteristic of more external sedimentary basins, with an important input of juvenile material from the most active sector of the volcanic arc (topmost metagreywackes of the Upper Units - Órdenes Complex). Sedimentary basins closer to the continent are distinguished by major contributions from domains away from the active arc, leading to older  $T_{DM}$  and very negative  $\epsilon Nd$  values (metagreywackes of the Basal Units - Malpica-Tui Complex). An evolution from active settings to others more related to passive margins is clearly identified in the Ediacaran-Cambrian transition, and it can be connected with a decrease of the volcanic arc activity and the transition towards a passive margin. The  $f^{Sm/Nd}$  vs  $\epsilon Nd$  diagram confirms the change in the tectonic scenarios linked to the Gondwana margin, perfectly recorded in metasediments from different sectors and units of the Iberian Massif.

**Key words:** Turbidites, Sm-Nd Isotope Geochemistry, Ediacaran-Cambrian transition, Iberian Massif.

## INTRODUCCIÓN

El estudio petrográfico y la geoquímica de elementos mayores han dado paso a un tratamiento centrado en elementos químicos concretos, que por su comportamiento inmóvil en procesos metamórficos, permiten evaluar de una manera eficaz la procedencia del material detrítico. De este modo, las rocas detríticas pueden aportar una información valiosa sobre el contexto tectónico donde se desarrolló la sedimentación. La trazabilidad de estos elementos inmóviles, desde las áreas fuentes hasta su sedimentación en márgenes continentales, activos o pasivos (Bhatia and Crook, 1986), posibilita una modelización geoquímica de la evolución cortical. La sistemática isotópica Sm-Nd resulta un complemento

imprescindible para conocer las fuentes isotópicas de los sedimentos detríticos, y la mayor o menor participación de material de naturaleza juvenil.

El estudio geoquímico e isotópico de determinadas series de rocas metasedimentarias del Macizo Ibérico (Fig. 1) permite conocer, con mayor detalle, la evolución geodinámica del margen de Gondwana entre el Ediacareense y el Cámbrico. Este margen fue de tipo activo durante este periodo y su actividad ha condicionado en gran medida el registro sedimentario y magmático de los terrenos que configuran el Orógeno Varisco, formado durante la colisión entre Gondwana y Laurussia. La sección de este orógeno preservada en el NW del Macizo Ibérico contiene terrenos con orígenes y evoluciones tectonotermales diferentes, que delimitan una zona de sutura desarrollada en el interior de Gondwana (Díez Fernández y Arenas, 2015). En esta

zona de sutura, se diferencian un dominio autóctono, que junto con otro parautoctono definen la sección principal del margen de Gondwana implicada en el Orógeno Varisco. El dominio alóctono está constituido por un apilamiento tectónico de terrenos exóticos. Estos complejos alóctonos ocupan una posición estructuralmente superior, cabalgantes sobre los dominios autóctono y parautoctono. Constan de dos terrenos con historias tectonotermales diferentes y afinidad de corteza continental (Unidades Basales y Superiores), separados por un conjunto de Unidades Ofiolíticas que representan una zona de sutura del orógeno (Arenas y Sánchez Martínez, 2015).

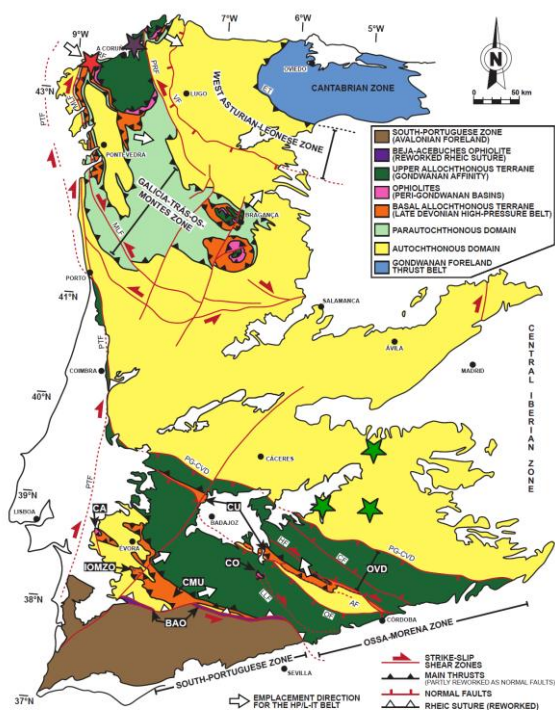


FIGURA 1. Mapa geológico del Macizo Ibérico y la correlación de los terrenos alóctonos del NO y SO de Iberia (Díez Fernández y Arenas, 2015). Consultar abreviaturas en Díez Fernández y Arenas (2015). Se incluye la localización de las zonas de muestreo. Las zonas de muestreo se muestran con estrellas, cuyos colores se corresponden con los de la figura 2.

## MARCO GEOLÓGICO

Con el fin de conocer más detalladamente la evolución geodinámica del margen norte de Gondwana durante el tránsito entre el Neoproterozoico y el Paleozoico inferior, se han estudiado secuencias de rocas sedimentarias deformadas y metamorfizadas del Macizo Ibérico (Fig. 1). Las Unidades Alóctonas Superiores del NO del Macizo Ibérico representan en conjunto diferentes secciones de un arco magmático peri-Gondwánico (Fig. 1). Estas unidades presentan potentes series de metagrauvacas que ocupan los niveles estructurales culminantes del Complejo de Órdenes. Estas series muestran facies típicas de abanicos submarinos profundos (Fuenlabrada et al.,

2010 y las referencias en él incluidas). Las Unidades Alóctonas Basales del NO del Macizo Ibérico definen un sistema de subducción continental Varisco y sus protolitos representan una sección del margen externo de Gondwana. En el Complejo de Malpica-Tui, estas unidades constan de dos secuencias de rocas metasedimentarias yuxtapuestas. Una secuencia inferior, que constituye un depósito predominantemente grauváquico, relativamente próximo a su fuente y una secuencia superior de carácter mayoritariamente pelítico, depositada en un contexto de sedimentación más alejado de las áreas fuente (Díez Fernández et al., 2010). El Complejo Esquisto Grauváquico, en la Zona Centro Ibérica (ZCI) (Fig. 1), se compone de una secuencia de lutitas y areniscas pre-Ordovícicas. En la zona sur de este dominio encontramos una transición gradual y completa entre turbiditas Ediacarenses (Unidad Inferior) y secuencias pelíticas Cámbricas (Unidad Superior, Pizarras del Pusa), depositadas en ambientes menos energéticos.

## RESULTADOS

Las metagrauvacas que afloran en la secuencia superior del Complejo de Órdenes, con una edad máxima de sedimentación de c. 530-510 Ma, presentan un carácter inmaduro, con índices de alteración química (CIA) bajos y baja alteración post-deposicional. Los diagramas de Bhatia y Crook (1986) para estas series sugieren una procedencia ligada a un margen activo evolucionado (Fuenlabrada et al., 2010). Los valores de  $\epsilon Nd$  inicial ( $\epsilon Nd_i$ ) positivos (0.3-4.8) apuntan a una importante contribución juvenil, y situarían la cuenca próxima a un arco construido sobre corteza continental adelgazada. Las  $T_{DM}$  de las metagrauvacas oscilan entre 720 y 1215 Ma, que junto con la ausencia de poblaciones de zirrones de edad Mesoproterozoica, sitúan a este terreno en la periferia del Cratón del Oeste de África (Fuenlabrada et al., 2010 y referencias en él incluidas) (Fig. 2).

Las metagrauvacas y esquistos con albita de la secuencia inferior de las Unidades Basales presentan una edad máxima de sedimentación de c. 560 Ma (Díez Fernández et al., 2010). Estas series muestran fuentes predominantemente félsicas, con CIAs muy bajos y una baja alteración post-deposicional. Sus características geoquímicas sugieren una sedimentación ligada a un sistema de arco desarrollado en un margen continental adelgazado. Los mica-esquistos de la secuencia superior (c. 510 Ma; Díez Fernández et al., 2010) muestran contribuciones de fuentes máficas y patrones geoquímicos afines a un contexto de margen pasivo. Las  $T_{DM}$  se consideran una única población y muestran valores muy antiguos, que varían entre 1743 y 2223 Ma y valores de  $\epsilon Nd_i$  muy negativos (-13.1 a -8.1) (Fuenlabrada et al., 2012).

En el S de la ZCI, las series turbidíticas del Ediacarenses tardío (Unidad Inferior) presentan un

marcado carácter inmaduro, con CIAs bajos y se descarta una fuerte alteración post-deposicional. Por otra parte, la Formación Pusa (Cámbrico Inferior), localizada por encima del Nivel conglomerático de Fuentes, presenta sedimentos con carácter pelítico, y CIAs propios de alteración baja a moderada. Sus composiciones geoquímicas sugieren una localización de las cuencas sedimentarias, durante el Ediacareense Superior, relacionada con un margen activo evolucionado, mientras que las pizarras del Cámbrico Inferior parecen más afines con un contexto de margen pasivo. En el caso de las metagrauvas Ediacarenses, los valores de  $\epsilon\text{Nd}_i$  menos negativos (-3.0 a -1.5) y  $T_{\text{DM}}$  más juveniles (1256-1334 Ma) sugieren una mayor contribución de una fuente mantélica empobrecida; mientras que durante el Cámbrico Inferior ( $\epsilon\text{Nd}_i$ : -5.2 a -4.1;  $T_{\text{DM}}$ : 1444-1657) el material siliciclástico depositado procedería del reciclado de fuentes predominantemente corticales, probablemente del Cratón del Oeste de África (Fuenlabrada et al., en prensa) (Fig. 2).

## DISCUSIÓN

Los datos expuestos indican una relación directa entre las características geoquímicas e isotópicas de las secuencias de rocas metasedimentarias analizadas y los ambientes geodinámicos en los que se depositaron. La sedimentación se produjo en el contexto de un margen convergente, en la cercanía de un arco volcánico continental evolucionado, quedando descartada cualquier afinidad con sistemas de arcos de islas oceánicos. Las fuentes isotópicas de Nd confirman modelos previos acerca de la procedencia y posición relativa de los terrenos implicados posteriormente en la orogenia Varisca (Fig. 2).

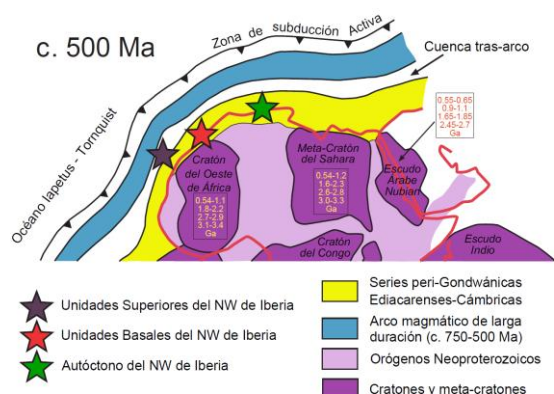


FIGURA. 2. Modelo de la posición relativa de las cuencas sedimentarias con respecto al arco peri-Gondwánico y los cratones del N de África (Albert et al., 2015).

La contribución de la actividad volcánica ligada al arco es evidente en las secuencias culminantes de las Unidades Superiores del Complejo de Órdenes. Tanto sus características geoquímicas como isotópicas sitúan a estas cuencas sedimentarias cerca del foco de

actividad principal del arco durante el Cámbrico Medio (Fig. 2). Los valores de  $f^{\text{Sm/Nd}}$  y  $\epsilon\text{Nd}_i$  para estas unidades se representan sobre el campo de rocas típicas de arco (Fig. 3). Este hecho, junto con la sincronización entre edad de sedimentación y magmatismo de las Unidades Superiores, sugiere la sedimentación de una cuenca intra-arco, coincidiendo con la fase principal de actividad del arco peri-Gondwánico, recibiendo un aporte continuo de material juvenil (Fuenlabrada et al. 2010).

Por el contrario, la secuencia inferior de las Unidades Basales muestra características geoquímicas coherentes con un contexto de sedimentación en una cuenca tras-arco o retro-arco. Durante su rellenado, en el Ediacareense tardío, la cuenca se localizaría cercana a la plataforma externa de Gondwana, y relativamente alejada de actividad ígnea importante, aunque es clara la influencia de un arco Cadomiense (Díez Fernández et al., 2010; Fuenlabrada et al., 2012). La disminución de la actividad del arco o el alejamiento del mismo hacia posiciones más distales continuaría durante el Cámbrico, como queda patente en la tendencia geoquímica hacia un contexto de margen pasivo que muestra la secuencia superior de las Unidades Basales. En ese escenario, la cuenca tras-arco recibiría una mayor contribución desde fuentes más cercanas al dominio continental, lo que se refleja en sus características geoquímicas e isotópicas (Fuenlabrada et al., 2012). Valores de  $\epsilon\text{Nd}_i$  muy negativos y  $T_{\text{DM}}$  muy antiguas confirman esta afinidad continental de las Unidades Basales. Afinidad que también se observa en el diagrama de  $f^{\text{Sm/Nd}}$  vs  $\epsilon\text{Nd}_i$  (Fig. 3), con valores muy alejados de las Unidades Superiores y en una posición claramente en transición entre los campos relativos a márgenes activos y pasivos. Las  $T_{\text{DM}}$  de ambas secuencias son compatibles con fuentes predominantemente Paleoproterozoicas y Arcaicas, todas ellas presentes en el margen Norteafricano de Gondwana, lo que sitúa a las cuencas en la cercanía del Cratón del Oeste de África, con posibles contribuciones del Meta-Cratón del Sahara (Díez Fernández et al., 2010) (Fig. 2).

Por último, las características geoquímicas que presentan las metagrauvas Ediacarenses y las pizarras del Cámbrico Inferior en la sección sur de la ZCI (Fig. 1) confirman una evolución estratigráfica coherente con un cambio progresivo en el contexto tectónico de sedimentación. Las composiciones isotópicas de Nd, diferentes en ambas secuencias, confirman esta transición. Valores menos negativos del  $\epsilon\text{Nd}_i$  y  $T_{\text{DM}}$  más juveniles, en el caso de las metagrauvas Ediacarenses, sugieren un contexto ligado a un margen activo, probablemente una gran cuenca tras-arco, que ocuparía una posición más cercana a un foco de actividad magmática del arco. Durante el Cámbrico Inferior, los aportes sedimentarios procedentes del continente Gondwana aumentarían en proporción, confirmando una transición entre un

escenario convergente y otro divergente (Fuenlabrada et al., en prensa y las referencias en él incluidas). Esta evolución es claramente visible en el diagrama presentado en la Fig. 3, donde se observa un claro agrupamiento de los valores de ambas secuencias, con valores más radiogénicos para las rocas más jóvenes (pizarras Cámbricas), lo que sugiere un posible cambio en el marco geodinámico de sedimentación y en la posición relativa de las cuencas con respecto al eje magmático principal del arco.

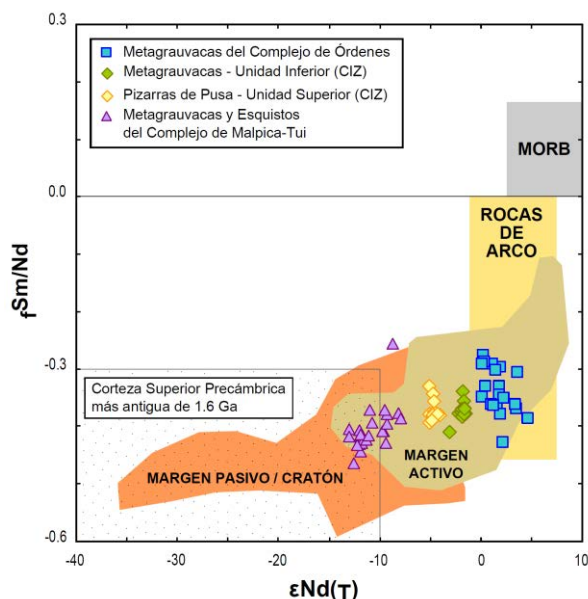


FIGURA 3. Diagrama  $f_{Sm/Nd}$  vs  $\epsilon Nd_i$  para las rocas metasedimentarias estudiadas. Campos como en McLennan y Hemming (1992).

Por tanto, es posible sugerir una paleogeografía geoquímica de las cuencas sedimentarias del Macizo Ibérico para el periodo comprendido entre el Neoproterozoico tardío y el Cámbrico Medio. Las paleocuencas situadas a lo largo del margen N de Gondwana (Fig. 2) estarían asociadas a la actividad magmática de un sistema de arcos evolucionado. Material juvenil, responsable de las bajas  $T_{DM}$  suministrado desde el sector más activo del arco, sitúa las cuencas de las Unidades Superiores en una posición más externa, durante el Cámbrico Medio (Fuenlabrada et al., 2010; Albert et al., 2015). En las Unidades Basales y de manera más aparente en la sección de la ZCI es evidente el cambio geodinámico registrado en los aportes detríticos entre el Ediacareense y el Cámbrico Inferior y Medio. Este aporte es de carácter más juvenil durante el Ediacareense tardío, y más antiguo a partir del Cámbrico Inferior, en respuesta a una posible disminución de la actividad magmática del arco, o a un alejamiento del arco a posiciones más distales, con el ensanchamiento de la cuenca y el aumento en la proporción de aportes más antiguos desde el continente.

## AGRADECIMIENTOS

El apoyo financiero para el presente trabajo ha sido proporcionado por el proyecto de investigación CGL2012-34618 del Ministerio de Economía y Competitividad.

## REFERENCIAS

- Albert, R., Arenas, R., Gerdes, A., Sánchez Martínez, S., Fernández-Suárez, J. y Fuenlabrada, J.M., (2015): Provenance of the Variscan Upper Allochthon (Cabo Ortegal Complex, NW Iberian Massif). *Gondwana Research*, 28: 1434–1448.
- Arenas, R. y Sánchez Martínez, S. (2015): Variscan ophiolites in NW Iberia: Tracking lost Paleozoic oceans and the assembly of Pangea. *Episodes*, 38: 315–333.
- Bhatia, M.R. y Crook, K.A.W., (1986): Trace elements characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92: 181–193.
- Díez Fernández, R., Martínez Catalán, J.R., Gerdes, A., Abati, J., Arenas, R. y Fernández-Suárez, J., (2010): U-Pb ages of detrital zircons from the basal allochthonous units of NW Iberia: Provenance and paleoposition on the northern margin of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic: *Gondwana Research*, 18: 385–399.
- Díez Fernández, R. y Arenas, R. (2015): The Late Devonian Variscan suture of the Iberian Massif: A correlation of high-pressure belts in NW and SW Iberia. *Tectonophysics*, 654: 96–100.
- Fuenlabrada, J.M., Arenas, R., Sánchez Martínez, S., Díaz García, F. y Castiñeiras, P., (2010): A peri-Gondwanan arc in NW Iberia. I: isotopic and geochemical constraints on the origin of the arc—a sedimentary approach. *Gondwana Research*, 17: 338–351.
- Fuenlabrada, J.M., Arenas, R., Díez Fernández, R., Sánchez Martínez, S., Abati, J. y López Carmona, A. (2012): Sm–Nd isotope geochemistry and tectonic setting of the metasedimentary rocks from the basal allochthonous units of NW Iberia (Variscan suture, Galicia). *Lithos*, 148: 196–208.
- Fuenlabrada, J.M., Pieren, A.P., Díez Fernández, R., Sánchez Martínez, S., Arenas, R. (en prensa). Geochemistry of the Ediacaran–Early Cambrian transition in Central Iberia: Tectonic setting and isotopic sources. *Tectonophysics*, doi: 10.1016/j.tecto.2015.11.013.
- McLennan, S.M. y Hemming, S., (1992): Samarium/neodymium elemental and isotopic systematics in sedimentary rocks *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56: 887–898.